

Especialistas en ciencias del mar en los mares árticos: Documentación del historial radiológico

El Laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino de Mónaco contribuye a evaluar la situación radiológica en los mares de Kara y Barentz

Antes de 1992, poco se conocía en el mundo sobre los niveles de radiactividad provocados por las operaciones de vertimiento en los mares árticos. En los tres últimos años esa situación ha cambiado gracias en gran parte a los esfuerzos mancomunados de especialistas rusos y noruegos y al Laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino, ubicado en Mónaco.

En 1992, atendiendo a una invitación de los gobiernos de Rusia y Noruega, el Laboratorio del Organismo para el Medio Ambiente Marino (IAEA-MEL) participó en expediciones de carácter investigativo al mar de Kara, para ayudar en el programa de evaluación relacionado con la evacuación de desechos radiactivos en los mares de Kara y Barentz. El programa del IAEA-MEL, organizado posteriormente en el marco del Proyecto internacional de evaluación de mares árticos (IASAP) del OIEA, incluyó:

- participar en cuatro expediciones al mar de Kara organizadas por el grupo mixto de expertos ruso-noruego y la Academia de Ciencias de Rusia durante el período 1992-1994;
- asistir en las mediciones radiométricas, *in situ* y en el laboratorio, de concentraciones de radionucleidos en el mar de Kara;
- organizar ejercicios de intercalibración de garantía de calidad analítica entre los laboratorios participantes;
- crear una base de datos central para el proyecto IASAP, en que figurasen todos los datos disponibles sobre concentraciones de radiactividad anteriores y actuales en los mares árticos; y
- contribuir al programa internacional de elaboración de modelos de computadora a escalas local, regional y mundial de la posible dispersión de radionucleidos liberados por los desechos vertidos, y la evaluación de las consecuencias radiológicas conexas.

Expediciones al mar de Kara

La literatura publicada antes de 1992 contiene poca información para documentar los niveles de radiactividad en el mar de Kara. Los datos disponibles son fundamentalmente resultado de estudios realizados por los Estados Unidos de América y Rusia en los años sesenta y ochenta. En 1992, tras el anuncio de anteriores vertimientos de desechos radiactivos en aguas poco profundas cercanas a las costas de Nueva Zembla, los gobiernos de Rusia y Noruega organizaron la primera de una serie de tres expediciones conjuntas a los mares de Barentz y Kara, y se invitó al OIEA a participar en ellas. (*Véase el mapa.*)

La primera expedición tuvo como objetivo investigar la contaminación radiactiva del medio marino en la zona de mar abierto del mar de Kara, con miras a definir y cuantificar las aportaciones de las fuentes locales. En 1993 se publicó la información oficial y, basándose en dicha información, se planificaron las expediciones conjuntas ruso-noruegas de 1993 y 1994. Sus objetivos fueron investigar los lugares de vertimiento en las bahías de Tsvolki, Stepovovo y Abrosimov, y en la depresión de Nueva Zembla, a fin de ubicar y definir los objetos vertidos, obtener datos sobre el estado de estos y medir los niveles de radiactividad en sus medios. Los lugares se inspeccionaron utilizando sistemas de sonar de remolque, espectrómetros subacuáticos y vehículos teledirigidos.

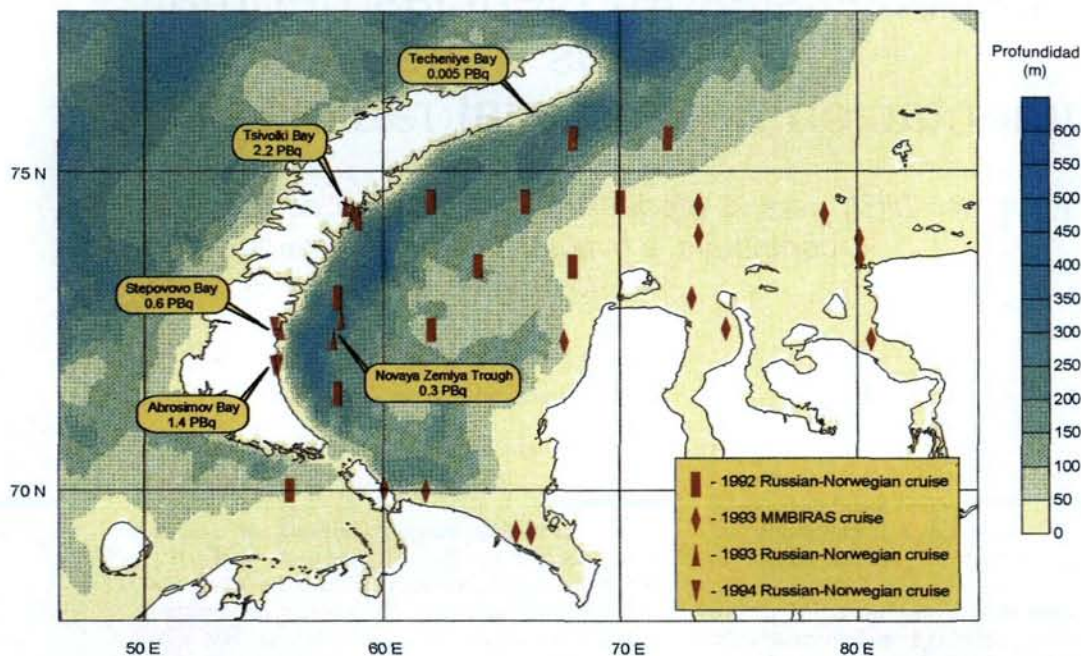
Las investigaciones practicadas en la bahía fueron satisfactorias y arrojaron información detallada sobre compartimientos de reactores vertidos, buques de carga y barcos cisterna con desechos sólidos; el submarino refrigerado por metal líquido de la bahía de Stepovovo; y un número elevado de contenedores con desechos sólidos. En todas las expediciones se realizaron análisis radiométricos *in situ* y a bordo, y se obtuvieron las series de muestras y datos ambientales que son necesarios para poder evaluar las consecuencias del vertimiento para el medio ambiente y la salud.

La estrategia de muestreo estuvo encaminada a 1) proporcionar pruebas de escapes, si los hubiere, de los desechos vertidos; 2) evaluar la dispersión proveniente de las fuentes y trazar mapas de las modalidades de distribución de radionucleidos en los

Por
Pavel Povinec,
Iolanda Osvath
y Murdoch Baxter

El Sr. Baxter es Director del Laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino de Mónaco, el Sr. Povinec es Jefe de la Sección de Radiometría del mismo, y la Sra. Osvath es física de dicho laboratorio.

Estaciones de muestreo ocupadas durante las expediciones al mar de Kara de 1992-1994 y existencias estimadas de radionucleidos en los lugares de vertimiento



Nota: Según los documentos de trabajo del IASAP, las existencias estimadas de radionucleidos se refieren al año 1994 y pertenecen a reactores navales evacuados en los principales lugares de vertimiento.

sedimentos del fondo marino; 3) evaluar las diferentes aportaciones a las existencias de radionucleidos; 4) evaluar la contaminación de la biota, la transferencia de radionucleidos y los factores de concentración de cada lugar de vertimiento; y 5) investigar la evolución cronológica de los niveles de radiactividad.

Se recogieron perfiles de distribución del agua y de los sedimentos del fondo marino, biota marina y, de la expedición de 1994, muestras de suelo, agua potable y vegetación de las costas de las bahías para realizar ulteriores análisis detallados de radionucleidos. Esta tarea se llevó a cabo fundamentalmente en laboratorios rusos y noruegos y en el IAEA-MEL. Para garantizar la calidad de los datos sobre la radiactividad, el IAEA-MEL organizó ejercicios de intercomparación de radionucleidos en los sedimentos, el agua y las algas para los laboratorios que participaron en el análisis de las muestras recogidas durante las expediciones.

Una importante contribución a las existencias de radionucleidos artificiales en el mar de Kara puede atribuirse a lo que aportan fuentes terrestres de las cuencas de los ríos Obi y Yenisei. Es por ello que en 1993 el IAEA-MEL también participó en una expedición internacional organizada por la Academia de Ciencias de Rusia para investigar la radiactividad en la zona meridional del mar de Kara.

En el IAEA-MEL se están analizando alrededor de 300 muestras recogidas en las cuatro expediciones. Además, con materiales recuperados en el mar de Kara, se han iniciado experimentos de laboratorio sobre la biocinética de los radionucleidos y su

interacción con sedimentos en condiciones específicas del Ártico.

Investigaciones radiométricas

Los resultados de los análisis de radionucleidos de las muestras recogidas durante las expediciones al mar de Kara muestran claramente que, hasta el momento, no ha habido liberaciones notables de los desechos radiactivos vertidos. Tal vez la prueba más convincente sea la investigación realizada por el IAEA-MEL sobre radiación gamma en la superficie de los sedimentos del lugar de vertimiento de la bahía de Stepovovo. El espectro gamma —obtenido mediante el nuevo sistema de estudios subacuáticos del IAEA-MEL que incluye un detector de HPGe refrigerado— es uno de los primeros conjuntos de espectros gamma marinos de alta resolución que se haya registrado *in situ*. Este sistema ya se había sometido a prueba con resultados satisfactorios en el verano de 1993, en el mar de Irlanda, cerca del emplazamiento nuclear de Sellafield.

El espectro muestra a primera vista el predominio de las líneas de rayos gamma provenientes de radionucleidos (de fondo) de origen natural, a saber, del potasio 40 y de las series de desintegración de uranio y torio. El cesio 137 es el único radionucleido antropógeno identificable en una concentración bastante inferior a las de los radionucleidos naturales. Pese a la cercanía de los reactores vertidos y de los emplazamientos donde se realizaron numerosos ensayos

anteriores de armas nucleares, las concentraciones de radionucleidos antropógenos son bajas, inferiores a las de muchas otras zonas oceánicas del mundo. (Véase el gráfico.)

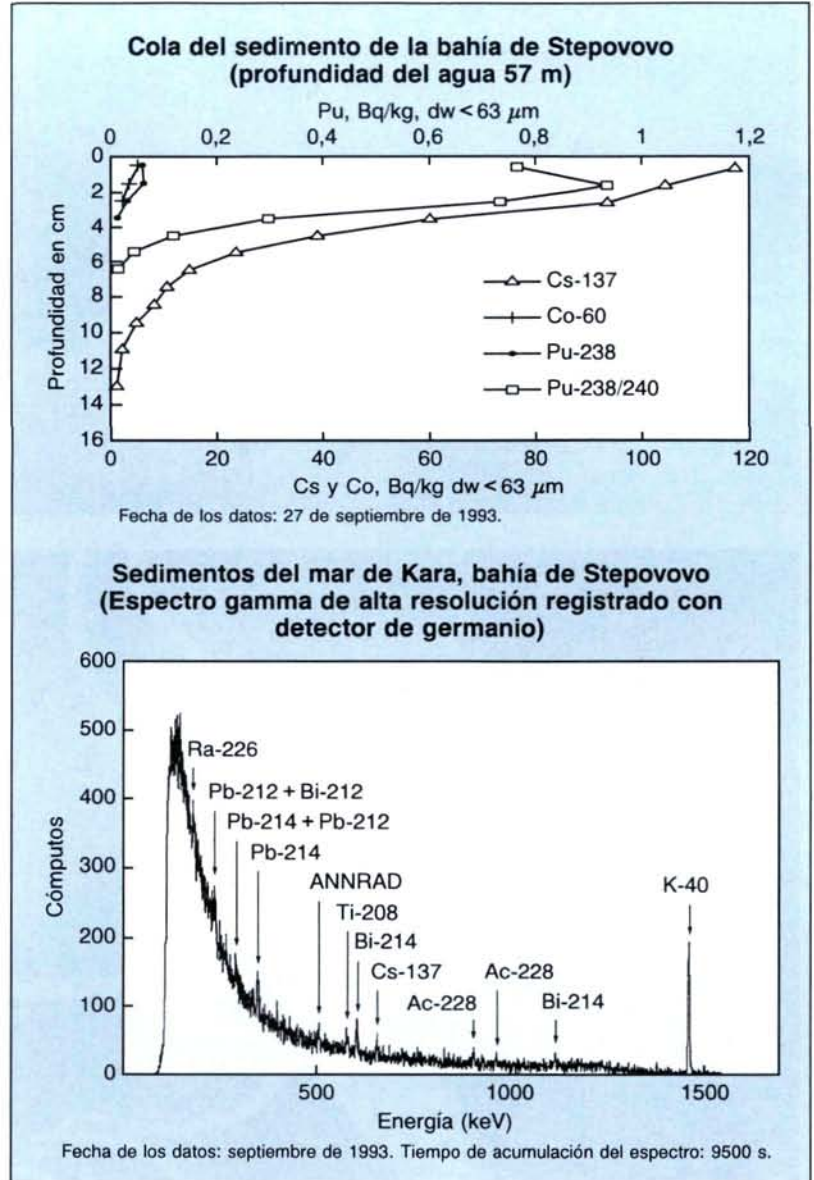
Los análisis radiométricos de los sedimentos del mar de Kara que se realizan en el laboratorio también han indicado claramente que la radiactividad antropógena actual de los sedimentos del mar de Kara es baja. Ello obedece fundamentalmente a la deposición directa y a la escorrentía de las cuencas colectoras de precipitaciones radiactivas globales provocadas por los ensayos de armamento nuclear, las descargas provenientes de las plantas de reelaboración de Europa occidental y la antigua Unión Soviética, la precipitación radiactiva de Chernobyl y las precipitaciones radiactivas locales de ensayos nucleares realizados en Nueva Zembla. No obstante, en los principales lugares de vertimientos de las bahías de Abrosimov, Stepovovo y Tsivolki, cerca de las costas de la isla de Nueva Zembla, se han hallado zonas con elevadas concentraciones de cesio 137 y cobalto 60. (Véase el gráfico.) Tales resultados indican que ha ocurrido una contaminación local a causa de escapes a partir de desechos de actividad baja vertidos, pero que la misma no se detecta más allá de los lugares de vertimientos.

Nuestro estudio, junto con el trabajo de los colegas rusos y noruegos, indica que no existen señales de escapes de consideración provenientes de componentes de los reactores y de otros desechos evacuados en el mar de Kara. En general, las concentraciones de radionucleidos anteriores y actuales en las aguas y los sedimentos del mar de Kara han sido y siguen siendo muy bajas. Por tanto, el problema residual más importante respecto de las evacuaciones no es lo que ha ocurrido hasta ahora sino lo que podría suceder en el futuro. El principal reto científico es pronosticar la posible magnitud, la composición de nucleidos, la dispersión, la transferencia y las consecuencias radiológicas de cualquier futuro escape de los reactores y otros desechos nucleares vertidos.

Base de datos de radiactividad

Otro aporte del IAEA-MEL en el marco del IASAP se realiza por conducto de su programa Base de datos mundial de radiactividad marina (GLOMARD). El laboratorio funciona como instalación central para recopilar y sintetizar todos los datos sobre la radiactividad marina, es decir, en el agua de mar, los sedimentos y la biota. La base de datos proporciona un recurso científico destinado a facilitar algunas operaciones importantes, tales como la obtención de información inmediata y actualizada sobre los niveles de radiactividad, la generación de imágenes de actividades en momentos y lugares determinados, la investigación de los cambios transitorios y la identificación de lagunas en la información disponible.

La base de datos está vinculada a la base de datos interna de control de calidad analítica del IAEA-MEL, lo que permite realizar comprobaciones inmediatas de las prácticas de laboratorio. En el contexto específico de los mares árticos, la base de datos hará aportaciones a la evaluación de los niveles de radiac-

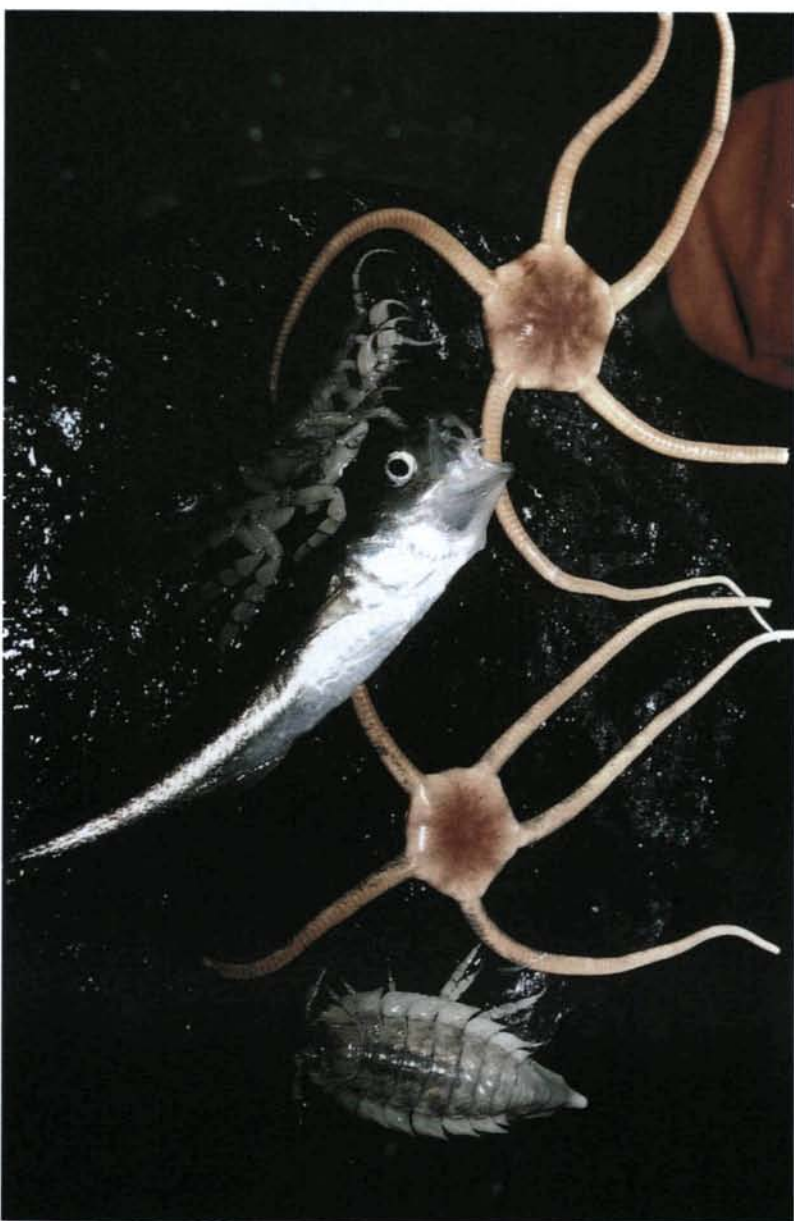


tividad ambiental de la región, y a la evaluación de las dosis de radiación a la biota marina y a las poblaciones humanas locales, regionales y mundiales. Algunos de los usos de la base de datos en el programa de evaluación del Artico son de carácter inmediato. Entre ellos, la evaluación de las tasas de nucleidos, la investigación de las tendencias cronológicas, los cálculos de las existencias, las estimaciones de dosis y la validación de modelos.

Resultado de las investigaciones radiométricas realizadas en el mar de Kara

Elaboración de modelos de computadora y evaluación radiológica

La elaboración de modelos de dispersión radiológica ha comenzado en tres escalas geográficas, a saber, mundial, regional y local, a fin de pronosticar las posibles consecuencias para el mundo en general, y para las poblaciones que viven cerca de los emplazamientos de evacuación. En cuanto a la elaboración



Especialistas del IAEA-MEL han participado en cuatro expediciones para estudiar la situación radiológica del mar de Kara, a veces con marejadas fuertes. Además de las muestras de suelo tomadas en la isla, los investigadores recogieron muestras de biota y de otros tipos en las aguas del mar de Kara.

(Cortesía: I. Osvath, IAEA-MEL)

de modelos de dispersión de contaminantes radiactivos a escala mundial, el IAEA-MEL ha preparado y puesto en práctica varios modelos de compartimiento.

Esta clase de modelo es particularmente apropiada para las evaluaciones de largo alcance (de más de 100 años), y ya se han utilizado en otros programas (por ejemplo, el CRESP del Organismo de Energía Nuclear, y el MARINA de la Comisión Europea). Asimismo la exactitud de los resultados de tales modelos es la adecuada para el grado de detalle que exigen las evaluaciones radiológicas.

El trabajo que aquí se presenta se basa en el modelo ARTIC-2 de 16 cuadrículas, con una estructura mejorada en la región del Artico. El modelo brinda un pronóstico bastante exacto de la dispersión del cesio 137 de Sellafield por los mares del norte.

Las dosis para la población mundial (dosis colectivas efectivas comprometidas e integradas durante 300 años después de la liberación) y las tasas de dosis individuales máximas para grupos críticos hipotéticos se calcularon atendiendo a la vía de ingestión de pescado de agua de mar. El elemento oceanográfico del modelo proporciona datos sobre la concentración de radionucleidos. El componente radiológico traslada las concentraciones de radionucleidos existentes en el agua a las concentraciones correspondientes en los peces, utilizando los factores de concentración recomendados por el OIEA. Los valores de captura se derivan de datos estadísticos sobre pesquería de la Organización para la Agricultura y la Alimentación y del CIEM. La incorporación de radionucleidos por los seres humanos se cuantifica suponiendo que normalmente se consume el 50% de la captura total de peces, salvo en los mares árticos, donde se supone que se consuma el 80%. La captura de peces se considera constante durante el período de interés, y no se tiene en cuenta demora alguna entre la captura y el consumo. La conversión final a la dosis se logra utilizando factores de conversión de la dosis para adultos basados en los contenidos en la CIPR-60 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica.

Sobre la base de la información existente acerca de los desechos nucleares vertidos en el Artico, incluidos los reactores, se han creado diversos escenarios del término fuente. Se realizaron los cálculos para 20 radionucleidos de período largo en el momento del vertimiento y 500 años después.

En cuanto a la liberación gradual de cesio 137 durante 20 años después del vertimiento, proveniente de reactores navales con combustible nuclear gastado que se evacuaron en el mar de Kara, el modelo pronostica concentraciones máximas de unos 10 Bq por metro cúbico promediados en todo el compartimiento del agua de fondo de la zona occidental del mar de Kara. Esta cifra equivale a menos del 1% de la radiactividad natural del agua del mar. Para localizar y cuantificar las máximas en escala más pequeña, se utilizarán modelos locales y regionales de resolución espacial mejorada.

A partir de la información disponible, se realizó una evaluación elemental de los efectos radiológicos para el escenario menos favorable. Los cálculos de dosis basados en las existencias máximas estimadas en reactores vertidos en el mar de Kara indican una dosis efectiva colectiva comprometida del orden de

10 Sv·hombre, si ocurre una liberación instantánea en el momento del vertimiento. Más del 70% de esta dosis es liberada por el cesio 137 y los productos de activación (cobalto 60 y carbono 14) aportan casi todo el resto. Estos cálculos se basan en el supuesto de que la captura de peces en el mar de Kara es de unos 20 kilotonnes anuales.

No obstante, la hipótesis de la liberación instantánea de nucleidos es muy poco realista, pues el mecanismo de liberación del grueso de las existencias sería normalmente por la vía de la corrosión, la cual ocurriría durante períodos de hasta cientos o incluso miles de años. En particular, es poco probable que la disolución del cobalto 60 y del acero y otros componentes estructurales sea cuantitativa durante la corta vida útil media (unos 7,6 años) de este nucleido. Por tanto, en una liberación rápida de radionucleidos de un reactor, el cesio 137 es realmente el aportador principal de dosis más allá de la región de evacuación inmediata. En cuanto a una liberación retardada de radionucleidos, por ejemplo, después de 500 años de contención, el 99% del compromiso de la dosis de consumo de pescado procederá del carbono 14.

Para evaluar la repercusión a escala regional, ahora se están utilizando modelos tridimensionales de circulación y dispersión elaborados en la Universidad de Hamburgo. Los cálculos preliminares que se realizaron para comprobar los pronósticos de los modelos muestran que en el caso de una liberación continua de 1 TBq anual de cesio 137 en la bahía de Abrosimov, las concentraciones medias de dicho elemento en la entrada de la bahía podrían llegar a 2 kBq por metro cúbico.

Documentación de la situación radiológica

Hasta la fecha, las aportaciones del IAEA-MEL al IASAP con la elaboración de modelos radiométricos y preliminares han arrojado resultados provechosos, los cuales indican que sólo los efectos radiológicos a escala regional y local pueden ser de importancia. Las consecuencias radiológicas mundiales de anteriores vertimientos de desechos en los mares árticos serán comparables o inferiores a las resultantes de otras fuentes antropógenas y naturales de radiactividad.

Los especialistas del IAEA-MEL seguirán participando activamente en muchos aspectos de este valioso proyecto internacional para investigar y documentar las consecuencias que han tenido para la salud y el medio ambiente anteriores prácticas de vertimiento de desechos radiactivos en los mares árticos.